



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 43 029 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**C 23 C 24/10**  
F 02 B 77/02  
B 23 K 26/00

②① Aktenzeichen: 196 43 029.1  
②② Anmeldetag: 18. 10. 96  
②③ Offenlegungstag: 23. 4. 98

DE 196 43 029 A 1

⑦① Anmelder:  
Bayerische Motoren Werke AG, 80809 München,  
DE

⑦② Erfinder:  
Mielsch, Götz, 80992 München, DE; Stothard, Nigel,  
Dr., 81927 München, DE; Sauer, Dieter, 85309  
Pörmbach, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE	41 02 495 C2
DE	34 33 698 C2
DE	22 00 003 B2
DE	40 40 436 A1
DE	39 42 050 A1
DE	39 42 049 A1
DE	39 22 378 A1
DE	38 13 802 A1
DE	32 46 630 A1
DE-OS	22 63 777
EP	06 22 476 A1
EP	02 90 052 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- ⑤④ Verfahren zum Beschichten eines aus einer Aluminium-Legierung bestehenden Bauteils einer Brennkraftmaschine mit Silicium
- ⑤⑦ Verfahren zum Beschichten eines insbesondere aus einer Aluminium-Legierung bestehenden Bauteils einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Brennkraftmaschinen-Zylinders, mit Silicium durch einen Hochenergiestrahl, insbesondere einen Laserstrahl, wobei ein Aluminium-Silicium-Pulver mittels einer geeigneten, ähnlich einer beim bekannten Plasmaspritzen Verwendung findenden Pulverfördereinrichtung in Zusammenwirken mit dem Laserstrahl von der festen in die schmelzflüssige Phase, wobei Silicium vollständig im Aluminium aufgelöst wird, umgewandelt und auf die Bauteil-Oberfläche in Form feiner Tröpfchen aufgetragen wird, und worauf beim folgenden Erstarrungsprozeß feinstdisperses Silicium freigesetzt wird. Wird die Bauteil-Oberfläche extrem gekühlt bspw. mittels flüssigem Stickstoff, so wird eine Schicht aus amorphem Aluminium-Silicium-Glas gebildet.

DE 196 43 029 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten eines insbesondere aus einer Aluminium-Legierung bestehenden Bauteils einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Brennkraftmaschinen-Zylinders, mit Silicium durch einen Hochenergiestrahl, insbesondere einen Laserstrahl. Zum technischen Umfeld wird beispielshalber auf die DE 39 22 378 A1 verwiesen.

Aluminium-Bauteile von Brennkraftmaschinen, insbesondere die Zylinder-Laufbahnen von Brennkraftmaschinen-Kurbelgehäusen aus einer Aluminium-Legierung sind in Abhängigkeit von der Verschleißqualität der Legierung mit einer Verschleißschutzschicht zu versehen, welche üblicherweise als Legierungsbestandteil Silicium enthält. Eine einfache galvanische Beschichtung zeigt teilweise mangelnde chemische Resistenz, während beim üblichen Plasmaspritzen verfahrenstechnische Mängel bezüglich der Haftung auftreten können. Bekannt ist ferner das Laserauftrags-schweißen, bei welchem jedoch durch starke Einlegierung in das Grundmetall oft metallurgische Probleme im Gefüge der Legierungszone auftreten.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein im Hinblick auf die erzielbaren Ergebnisse optimiertes Beschichtungsverfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 aufzuzeigen.

Die Lösung dieser Aufgabe ist dadurch gekennzeichnet, daß ein Aluminium-Silicium-Pulver mittels einer geeigneten, ähnlich einer beim bekannten Plasmaspritzen Verwendung findenden Pulverfördereinrichtung in Zusammenwirken mit dem Laserstrahl von der festen in die schmelzflüssige Phase umgewandelt und auf die Bauteil-Oberfläche in Form feiner Tröpfchen aufgetragen wird, worauf beim folgenden Erstarrungsprozeß feinstdisperses Silicium freigesetzt wird. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Inhalt der Unteransprüche.

Wie dem Fachmann bekannt ist – dies geht auch aus dem üblichen und bekannten Schmelzdiagramm AlSi hervor –, ist die Löslichkeit von Silicium in Aluminium im flüssigen Zustand erheblich höher als im festen Zustand. Theoretisch lassen sich Aluminium-Silicium-Legierungen mit einem Siliciumanteil von bis zu 99% herstellen, jedoch steigt hierbei der Schmelzpunkt der Legierung stark an. Aus diesem Grunde werden Kurbelgehäuse von Brennkraftmaschinen üblicherweise mit einem Silicium-Anteil von 17% abgegeben. Hingegen kann ein Aluminium-Silicium-Pulver durchaus mit einem Silicium-Anteil von bis zu 99% hergestellt werden. Je höher der Silicium-Anteil in einer Oberflächenschicht eines mechanisch beanspruchten Brennkraftmaschinen-Bauteiles ist, desto höher ist selbstverständlich die Verschleißfestigkeit dieses Bauteiles.

Ein Aluminium-Silicium-Pulver mit relativ hohem Silicium-Anteil könnte nun beispielsweise mittels Plasmaspritzen auf die zu beschichtende Oberfläche aufgetragen und zusätzlich mittels Laser umgeschmolzen werden. Alternativ dazu kann das Pulver mit einem Binder zu einer streichfähigen Paste verarbeitet, aufgetragen, getrocknet und dann mittels Laser eingeschmolzen werden, wie dies in der oben genannten DE 39 22 378 A1 beschrieben ist. Bei diesen beiden soeben genannten Verfahren wird jedoch die aufgebraachte Schicht nachträglich mit dem zu beschichtenden Oberflächenmaterial legiert. Aufgrund dieser homogenen Legierung der Beschichtung mit dem Grundwerkstoff wird zwar die Haftung verbessert, jedoch wird die auf diese Weise erreichbare Korngröße der Silicium-Partikel durch die maximale Abkühlgeschwindigkeit bestimmt, welche wiederum abhängig ist von der Wärmeleitfähigkeit des zu beschichtenden Bauteiles. Bei diesen bekannten Verfahren sind die sich ergebenden Abschreckgeschwindigkeiten ge-

ring, da der Laserstrahl tief in den Grundwerkstoff des Bauteiles eindringt.

Vollkommen verschieden hiervon arbeitet das Beschichtungsverfahren nach der vorliegenden Erfindung. Hier erfolgt keine eigentliche Einlegierung der Oberflächenschicht in das Bauteil, sondern es wird eine Phasenumwandlung des Beschichtungsmaterials zur Erzeugung feinstdisperser Ausscheidungen dergestalt genutzt, daß durch den Laserstrahl das Aluminium-Silicium-Pulver auf dem Weg zur zu beschichtenden Oberfläche schmelzflüssig wird – hier liegt das Silicium vollständig im Aluminium aufgelöst vor – und daran anschließend aus den feinen Tröpfchen auf dieser Oberfläche erstarrt. Der beim Erstarren wieder erfolgende Phasenübergang in den festen Zustand setzt feinstdisperses Silicium, sog. Primärsilicium frei.

In anderen Worten ausgedrückt wird somit vorgeschlagen, mittels Laser ein durch Verdüsen hergestelltes hochsiliciumhaltiges Aluminium-Pulver auf eine untereutektische Aluminium-Legierung, nämlich das besagte Bauteil, aufzutragen. Wenn nun dieses Pulver noch vor dem Auftreffen auf das Bauteil in die schmelzflüssige Phase übergeht, bei welcher Silicium vollständig gelöst ist, so läßt sich über einen weiten Bereich nicht nur die Menge, sondern auch die Korngröße des nach dem Erstarren vorliegenden sog. Primärsiliciums steuern. Durch die hohen Abkühlgeschwindigkeiten des schmelzflüssigen Aluminium-Silicium-Pulvers auf der Bauteiloberfläche lassen sich nämlich feinstdisperse Aluminium-Primärsilicium-Gefüge herstellen. Je nach Abkühlgeschwindigkeit sind hierbei Silicium-Kristalle in der Größenordnung von 1 bis 5 µm erzeugbar. Diese gegenüber dem bekannten Stand der Technik schnelle Abkühlung ergibt sich daraus, daß die Energie des Laserstrahls nicht direkt auf das zu beschichtende Bauteil einwirkt, sondern lediglich dazu genutzt wird, das Aluminium-Silicium-Pulver in die schmelzflüssige Phase, in welcher Silicium vollständig gelöst vorliegen kann, umzuwandeln. Selbstverständlich ist eine geeignete Pulverfördereinrichtung erforderlich, um das Aluminium-Silicium-Pulver zuzuführen und dem Laserstrahl auszusetzen, jedoch ist eine derartige Einrichtung, die in ähnlicher Weise vom Plasmaspritzen her bekannt ist, nicht Inhalt der vorliegenden Erfindung.

Vorteilhafterweise ist es bei Vorliegen derart feiner Gefüge, d. h. bei einer Kristallgröße des sich ausscheidenden Primärsiliciums in der Größenordnung von 5 µm nicht mehr erforderlich, die Beschichtung zur Freilegung des Siliciums chemisch zu ätzen. Ist eine erfindungsgemäße Schicht auf die Zylinder eines Brennkraftmaschinen-Kurbelgehäuses aufgebracht, so ist auch eine weitere Beschichtung der Brennkraftmaschinen-Kolben sowie eine Panzerung der Kolbenringe nicht mehr erforderlich. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß dann auch eine Schädigung der Beschichtung durch Ribbildung praktisch ausgeschlossen ist, da die verwendeten Werkstoffe, nämlich derjenige des zu beschichtenden Bauteiles sowie der Beschichtungswerkstoff vollständig kompatibel sind und annähernd gleiche Wärmeausdehnung aufweisen. Eine Ribbildung aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnung bei Temperaturwechsel ist daher mit Sicherheit ausgeschlossen. Ferner ist die Haftung der Schicht auf der Bauteiloberfläche legierungsbedingt ausgezeichnet und erhöht gleichzeitig die Bauteilsteifigkeit. Vorteilhafterweise kann für das zu beschichtende Bauteil, insbesondere für das die Zylinder bildende Brennkraftmaschinen-Kurbelgehäuse eine billige Aluminium-Basislegierung zum Einsatz kommen.

Wie bereits erwähnt, stellen sich die vorteilhaftesten Effekte dadurch ein, daß die schmelzflüssig aufgetragene Oberflächen-Schutzschicht aus dem Aluminium-Silicium-Pulver mit einer relativ hohen Abkühlgeschwindigkeit er-

start. Beim Beschichten eines Brennkraftmaschinen-Kurbelgehäuses können dabei die in diesem vorgesehenen Kühlwasser-Kanäle zur schnelleren Abkühlung und somit zum noch schnelleren Erstarren des schmelzflüssig aufgetragenen Aluminium-Silicium-Pulvers genutzt werden. Dies ist insofern von besonderem Vorteil, als auch im Hinblick auf den späteren Betrieb der Brennkraftmaschine die maximale Kühlung im oberen Totpunkt der Zylinderlaufbahn erwünscht ist und dementsprechend dort die Kühlkanäle best-  
wirkend angeordnet sind. An der gleichen Stelle, nämlich ebenfalls im Bereich des oberen Totpunktes der Zylinderlaufbahn ist nun aber auch die bestmögliche Beschichtung erwünscht, welche durch - ggf. sogar zusätzliche - Kühlung während des Beschichtungsprozesses erzeugt werden kann. Demzufolge wirken sich auch hier die Kühlmittelkanäle bzw. Kühlwasser-Kanäle des Kurbelgehäuses vorteilhaft aus. Dabei kann die Wärme vom Bauteil einfach an die in den Kühlwasser-Kanälen befindliche Luft abgegeben werden, es ist jedoch auch möglich, die Kühlwasser-Kanäle des Brennkraftmaschinen-Kurbelgehäuses mit einer Kühlflüssigkeit zu durchströmen, wenn dieses Kurbelgehäuse nach dem erfindungsgemäßen Verfahren beschichtet werden soll. Bei extremer Kühlung der Bauteil-Oberfläche, beispielsweise mittels flüssigem Stickstoff der im genannten Anwendungsfall ebenfalls durch die Kühlwasser-Kanäle geleitet werden kann, kann sogar eine Schicht aus amorphem Aluminium-Silicium-Glas gebildet werden. Vorteilhafterweise ist dieses Aluminium-Silicium-Glas zusätzlich chemisch hoch resistent, beispielsweise gegen saure Verbrennungsprodukte, wie schwefelige Säure. Insgesamt kann somit durch Kühlung der Bauteil-Oberfläche die Art der Gefügebildung gesteuert werden.

Je nach gewünschtem Anwendungsfall kann das Silicium im aufzutragenden Aluminium-Silicium-Pulver in einer Konzentration von 2% bis 99% (Gewichtsprozent) vorliegen. Optimale Ergebnisse im Bezug auf die Bearbeitbarkeit wurden in Versuchen mit 40% Silicium-Anteil erzielt, d. h. mit AlSi-40-Pulver, welches auf einen Zylinder eines Brennkraftmaschinen-Kurbelgehäuses in erfindungsgemäßer Weise aufgetragen wurde, wobei zunächst eine Schichtdicke von 3 mm eingestellt wurde, welche nach Fertigbearbeitung eine Residuumdicke von 1,5 mm aufwies. Ähnlich gute Resultate zeigte jedoch auch ein Pulvergemisch mit einem Silicium-Anteil in der Größenordnung von 35% bis 50%. Jedoch kann dies sowie eine Vielzahl weiterer Details auch abweichend hiervon gestaltet sein, ohne den Inhalt der Patentansprüche zu verlassen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschichten eines insbesondere aus einer Aluminium-Legierung bestehenden Bauteils einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Brennkraftmaschinen-Zylinders, mit Silicium durch einen Hochenergiestrahl, insbesondere einen Laserstrahl, dadurch gekennzeichnet, daß ein Aluminium-Silicium-Pulver mittels einer geeigneten, ähnlich einer beim bekannten Plasmaspritzen Verwendung findenden Pulverfördereinrichtung in Zusammenwirken mit dem Laserstrahl von der festen in die schmelzflüssige Phase umgewandelt und auf die Bauteil-Oberfläche in Form feiner Tröpfchen aufgetragen wird, worauf beim folgenden Erstarrungsprozeß feinsdisperses Silicium freigesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauteil-Oberfläche gekühlt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauteil-Oberfläche extrem gekühlt wird,

bspw. mittels flüssigem Stickstoff, wodurch eine Schicht aus amorphem Aluminium-Silicium-Glas gebildet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3 zum Beschichten der Zylinder eines Brennkraftmaschinen-Kurbelgehäuses, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung der Bauteil-Oberfläche über die Kühlwasser-Kanäle des Kurbelgehäuses erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Aluminium-Silicium-Pulver das Silicium in einer Konzentration von 2%-90%, insbesondere 35% bis 50% vorliegt.

- Leerseite -

# Process for coating an aluminium alloy device of an internal combustion engine with silicon

FILED

Veröffentlichungsnr. (Sek.) ☐ EP0837152, B1  
Veröffentlichungsdatum : 1998-04-22  
Erfinder : STOTHARD NIGEL DR (DE); MIELSCH GOETZ (DE); SAUER DIETER (DE)  
Anmelder :: BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG (DE)  
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE19643029  
Aktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) EP19970117899 19971016  
Prioritätsaktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19961043029 19961018  
Klassifikationssymbol (IPC) : C23C4/04 ; C23C4/16  
Klassifikationssymbol (EC) : C23C4/04, C23C4/16  
Korrespondierende Patentschriften

## Bibliographische Daten

The method concerns coating of an aluminium-alloy component (2) of an internal combustion engine with silicon by means of a high-energy beam, in particular, a laser beam. By means of an appropriate powder feed unit (similar to the equipment used in plasma spraying installations) in combination with a high-energy beam (10), an aluminium-silicon powder is transformed into a liquid phase, and is applied the component surface (2') in the form of fine droplets to form a layer (9). The finely dispersed silicon is released during subsequent solidification of the layer.

Daten aus der esp@cenet Datenbank - - I2